가정용 직류 플랫폼 설계

한상수*

DC Platform Design for Home Application

Snag-Soo Han*

이 논문은 2011년도 경원대학교 연구비를 지원받았음.

요 약

본 논문은 가정내 주 배전시스템으로 DC 전력을 사용하기 위한 그린 Platform을 제시하였다. 제안한 Platform은 공통 DC bus와 양방향 DC 그리드를 갖는 구조이며 DC bus에 연결된 장비들은 에너지원(source), 부하(load), 양방향 장비(bi-directional devices)로 구분하였다. 현재의 기술을 바탕으로 전압과 시스템을 DC로 변환하고 부하에 직접 연결 시킴으로서 시스템 효율을 증가시키기 위한 구축 방법을 제시하였다.

ABSTRACT

This paper proposes the green platform of implementing the DC system in a house. The architecture is designed to be the platform that merges modern loads, energy sources and bidirectional devices. Converting all voltage levels and systems into DC and supplying directly to the load improves efficiency of the system. We propose the implementation steps that can be done by modifying current technologies.

키워드

DC 플랫폼, 가정용, DC 버스, DC 그리드

Key Word

DC platform, House, DC bus, DC grid

* 정회원 : 경원대학교 에너지IT과 (sshan@kyungwon.ac.kr)

접수일자 : 2011. 05. 18
심사완료일자 : 2011. 05. 30

Ⅰ. 서 론

기후 온난화에 대한 사회적 문제와 에너지 감소 및 효율 향상을 위한 스마트 그리드(AC 송・배전) 기술이 개발되고 있으나 전력 변환 기술과 전력 반도체 기술의 발전으로 DC 송・배전에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1]-[3]. AC 전력 시스템에 비하여 DC 전력을 가정용 주 배전시스템으로 사용할 경우 역률과 고조파로 인한 전력 효율 및 질 그리고 손실이 향상된다[4]-[5]. 구글, 아마존, NTT등에서는 DC 배전 방식을 IDC에 적용하여 30% 이상의 효율 향상과 초기 투자비, 소요 공간, 전력 요금을 감소시켰다.

또한 가정용 인터넷 및 디지털 가전 기기와 IT 기기의 전원 시스템용으로 전력 효율과 질이 높고 신재생 발전 시스템 및 에너지 저장 시스템과의 연계가 용이한 DC 플랫폼이 필요하다. 이러한 DC 전력 시스템을 주 배전 시스템으로 사용하기 위해서 두 가지 문제점을 해결해야 한다. 하나는 전압 레벨 컨버터이고 다른 하나는 스위치이다. 최근 전력 전자 기술의 발달에 따라 두 가지 문제점은 많이 개선되고 있다. 전원이 AC 인 경우 AC-DC 전압 레벨 컨버터를 사용하고 DC 인 경우 고효율 고전력 DC-DC 전압 레벨 컨버터를 사용한다. DC 스위치의 경우 발생하는 전기 스파크 문제는 순수 수동 소자 혹은 능동과 수동 소자를 결합시킨 DC 브레이커를 사용함으로서 해결할 수 있다.

또한 모터 구동형 가전제품이나 에어컨, 세탁기등 가정용 가전제품들은 효율과 활용성을 높이기 위하여 AC-DC 컨버터나 DC-AC 컨버터를 내장하고 있다. 조명 시스템 또한 수명이 길고 전력소모가 낮은 LED를 이용한 DC 시스템으로 바뀌고 있으며 컴퓨터와 같은 지능형 전자 기기들도 DC-DC 컨버터를 사용한다. 재생에너지의 필요성이 날로 증가하고 있다. AC 배전 시스템의 경우 재생 에너지를 AC 그리드에 연결하기 위하여 재생에너지가 AC인 경우 AC-AC 컨버터가 필요하고 DC 재생 전압인 경우 DC-AC 컨버터가 필요하다. 그러나 가정에서 DC 공통 버스를 이용하면 AC-DC 컨버터를 간이화시킬 수 있다.

본 연구는 가정 내 주 배전시스템으로 DC 전력을 사용하기 위한 DC 플랫폼을 제시하였다. 제시한 플랫폼은 공통 DC 버스와 양 방향 AC 그리드를 갖는 구조이며 DC 버스에 연결된 장비들은 재생 에너지원으로 다중 DC 전압 레벨을 갖는 전원과 모터 구동형, 조명, 전자 와 같은 부하 그리고 DC 버스상의 에너지 상태에 따라 에너지를 충・방전하는 양 방향 장비들로 구분하여 해석하였다.

Ⅱ. 본 론

제시한 DC 배전 시스템은 그림1과 같이 광역의 공통 전압 영역을 갖는 DC 버스 구조를 갖는다. 그림에서 소켓이나 전등, 에어컨등과 같은 장비들은 전원, 부하, 양방향 장비의 3개 그룹으로 구분되어 DC버스에 연결된다. 일반적으로 대부분의 장비는 독립적으로 동작한다. 그러나 DC 충전기나 인버터와 같은 장비는 서로 통신을 함으로서 효율을 높이고 제어 효과를 크게 할 수 있다.

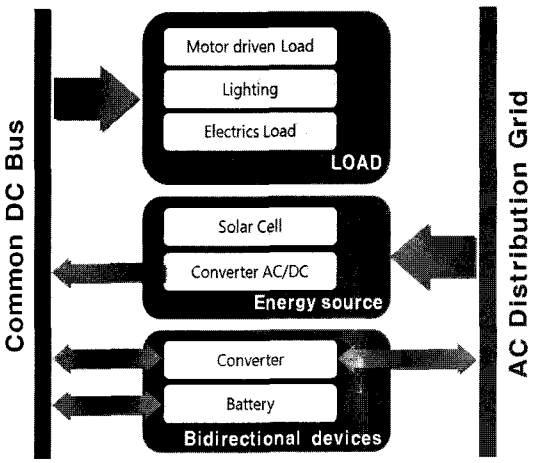

그림 1. DC 배전 시스템
Fig. 1. DC distribution Architecture

2.1. 공통 DC 버스와 전압

제안한 DC 버스는 420V-300V의 범위를 갖는 광역의 DC 전압 영역을 갖는다. 그 이유는 다음과 같다.

1) 제안한 전압은 AC 배전으로부터 쉽게 만들 수 있기 때문에 컨버터 구성이 간단하다.

2) UPS 장비들의 대부분이 300V 이상의 DC 링크 전압을 사용하며 전력 전자 소자를 구하기 용이하다.
3) 최소의 수정만으로 가정 내 가전제품에 직접 적용시킬 수 있다.
4) 제시한 범위내의 DC 전압용 브레이커가 많이 상용화되어 있다.
또한 광역의 전압 영역은 DC버스에 전력 주입시 탄력성을 갖게 한다. 따라서 정류 특성이 높은 컨버터의 사용이 필요 없기 때문에 컨버터 비용이 저렴하다.

2.2. 에너지원

에너지원은 AC와 DC 두가지 형태를 갖는다. 태양광이나 풍력등과 같은 에너지원은 단방향성을 갖고 에너지 흐름 제어가 용이하며 컨버터 구성이 간단하기 때문에 비용이 저렴하다. 재생 에너지원이 이 그룹에 속한다. AC 그리드의 경우 전력 흐름을 제어하기 위해서 전압과 위상(주파수)을 정류시켜야 한다. 그러나 DC 그리드의 경우 전력 전달 제어를 위해 전압만 제어하면 된다. 풍력이나 수력과 같은 AC 전압 형태인 경우 AC 그리드에 전력을 주입시키기 위해서 AC-AC 컨버터가 필요하다. DC 그리드인 경우 그림 2와 같이 풍력과 같은 AC 에너지원인 경우 AC-AC 컨버터 대신 AC-DC 컨버터를 사용하고 태양광과 같은 DC 에너지원인 경우 DC-DC 컨버터를 사용하면 된다. 그러나 제시한 DC 배전 시스템의 경우 DC 전압 준위와 전압 버스 준위를 조절하면 그림 3과 같이 컨버터 없이 직접 DC 버스에 연결할 수 있다.

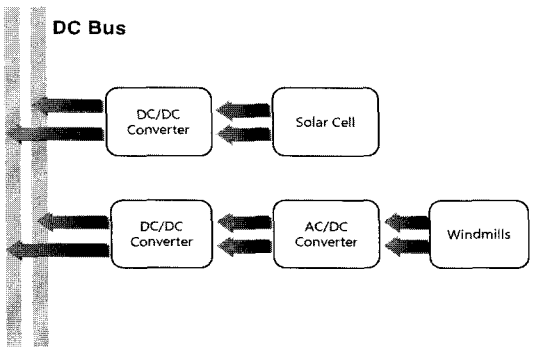

그림 2. 에너지원의 전력전달 구조
Fig. 2. Power transferring structure of Energy sources

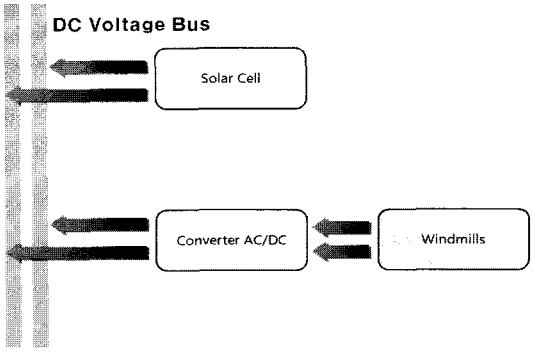

그림 3. 제시한 DC 배전 시스템의 에너지원 전력전달 구조
Fig. 3. Power transferring structure of Energy sources of Proposed DC distribution system

2.3. 부하

오늘날 대부분의 부하들은 그림 4와 같은 AC 배전 구조를 갖는다. 이러한 부하들은 일종의 AC-DC 컨버터를 내장하고 있기 때문에 부하에 적합한 DC 전압을 조정할 수 있다. 또한 큰 입력 전압 변위 영역을 갖고 있기 때문에 광역의 DC 전압 변위를 갖는 전원으로 인한 문제점이 발생하지 않는다. 가정에서 공통으로 사용하는 부하의 형태는 첫째 에어컨이나 세탁기와 같은 모터 구동 부하, 둘째 조명 그리고 셋째 전자 부하로 구분할 수 있다. 그림 5는 부하에 따른 제시한 DC 배전 시스템의 전력 전달 구조를 보여준다.

모터 구동 부하는 인덕턴스 특성과 약간의 비선형성을 갖고 있으며 캐패시터와 LC 필터를 구성하여 선고조파를 감소시키기 때문에 역률과 고조파 특성이 낮은 부하이며 AC 배전의 경우 기본적으로 모터제어를 위해 AC-DC 컨버터와 DC-AC 컨버터가 필요하다. 그러나 DC 배전의 경우 AC-DC 컨버터가 필요 없기 때문에 효율이 향상된다. 조명 부하는 백열 램프와 형광 램프 그리고 LED가 있다. 백열 램프는 효율이 낮고 열 발생으로 인하여 극히 제한되어 사용되고 있다. AC 배전의 경우 형광 램프는 AC-DC 컨버터와 DC-AC 컨버터로 구성된 전자 안정기가 사용되며 LED는 AC-DC 컨버터와 DC-DC 컨버터가 사용된다.

DC 배전의 경우 AC-DC 컨버터가 필요 없기 때문에 효율이 향상된다. 전자 부하는 컴퓨터, 팩스, LCD TV, 모바일 폰 충전기와 같이 일상생활에 사용되며 AC를 정류기로 전 처리하여 전자 회로에 전력을 공급하기 때

문에 낮은 역률과 고조파 특성이 높은 부하이다. 또한 3.3V-5V의 낮은 DC 전압을 사용하며 소비 전력이 낮다. AC 배전이 경우 AC-DC 컨버터와 DC-DC 컨버터가 필요하며 DC 배전의 경우 AC-DC 컨버터가 필요 없기 때문에 효율이 향상된다.

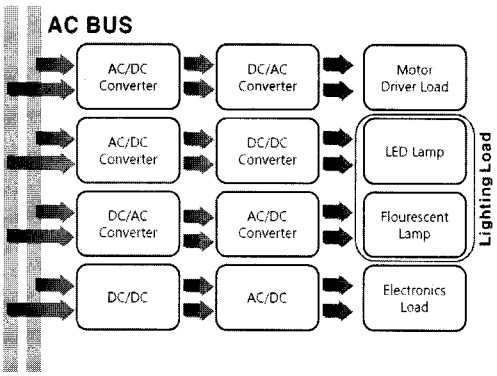

그림 4. AC 배전 구조의 부하 전력 전달 구조
Fig. 4. Power transferring structure of Loads of AC distributed architecture

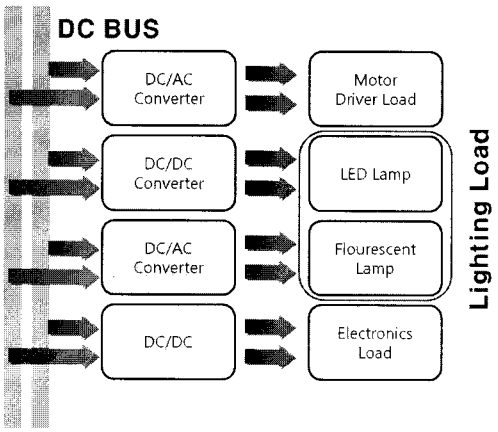

그림 5. 제시한 DC 배전 구조의 부하 전력 전달 구조
Fig. 5. Power transferring structure of Loads of Proposed DC distributed architecture

2.4. 양방향 장비

양 방향 장비는 밧테리나 수퍼 캐패시터와 같은 저장 장비로서 그림 6와 같이 양 방향 DC-DC 컨버터를 통해 DC 버스에 연결된 에너지원이 충분한 전력을 공급할 수 없을 경우 전력을 공급하고 버스에 충분한 전력이 공급될 경우 DC 버스로부터 전력을 충전한다. 이를 위해 DC 버스에 연결된 양 방향 장비에 대한 전력 흐름 제어가 필요하다. DC 버스사의 모든 장비들은 서로 통신하지 않는다.

따라서 이러한 장비들 간의 전력 흐름을 제어하기 위하여 그림 7과 같이 앞에서 언급한 광역 공통 DC 전압 버스의 활용성을 이용하여 DC-DC 컨버터를 통하지 않고 양 방향 장비를 직접 DC 버스에 연결한다. 모든 장비들 간의 전력 흐름 제어는 DC 버스 전압 변동에 의하여 제어된다. DC 버스상의 전압이 높으면 에너지원에 의하여 공급되는 에너지가 충분하기 때문에 양 방향 장비는 버스로부터 전력을 충전 시킨다. 부하에 의한 에너지 소모가 증가하여 DC 버스상의 전압이 낮아지면 양 방향 장비는 버스에 전력을 주입시킨다. 인버터 모터와 같은 부하의 경우 감속 시 발생하는 회생 전력으로 인하여 양 방향 장비와 같이 동작한다.

이러한 부하에 대한 전력 흐름 제어는 매우 어렵다. 또한 부하의 동작은 외부 환경이나 인간의 이용 방법에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 시스템에 의한 제어가 불가능하다. 제시한 공통 DC 버스 전압 변위의 광역화는 부하에 의해 발생되는 DC 전압의 변동성을 어느 정도 허용하며 부하의 동작에 의해 발생되는 문제를 DC 버스 전압상의 왜란으로 취급한다.

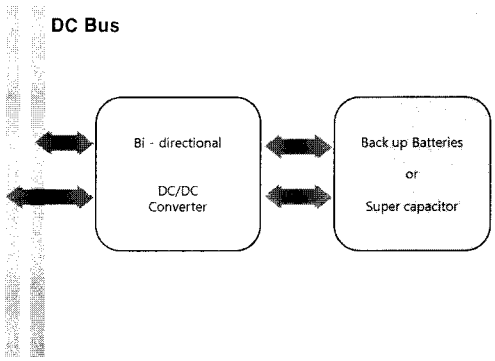

그림 6. 양 방향 장비의 전력 전달 구조
Fig. 6. Power transferring structure of Bi-directional devices

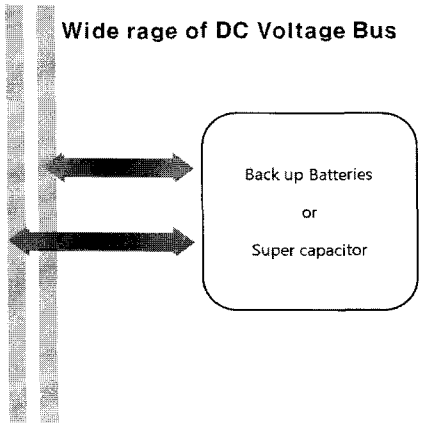

그림 7. 제시한 DC 배전 구조의 양 방향 전력 전달 구조
Fig. 7. Power transferring structure of Bi-directional devices of Proposed DC distribution architecture

Ⅲ. 시스템 결합 및 제어

광역 전압 레벨 DC 버스와 양 방향 장비 그리고 에너지원을 결합시켜 성능을 향상시키기 위하여 DC 버스의 전압 변동에 따른 시스템 작동 상태 및 제어는 표1과 같다. 표1과 같은 예는 [6]의 경우와 비슷한 구조이다.

표 1. DC 버스의 전압 변동에 따른 시스템 작동 상태 및 제어
Table.1 System operating states and controls with DC bus voltage variation

DC 버스 전압/시스템 동작 및 제어	에너지원	양 방향 장비 동작 및 제어
400V이상	에너지 주입율이 매우 높다.	작동 중지
400V - 380V	에너지 주입율이 높다.	충전(정격 전류치)율이 높다
380V - 320V	에너지 주입율이 평균.	많은 에너지를 요구할 경우 충전 시작.
320V - 300V	에너지 주입율이 낮다.	DC 버스에 에너지 주입.
300V이하	에너지 주입율이 매우낮다.	DC버스에 에너지 주입율 증가.제어 가능한 부하 저전력 모드로 전환.

표 1은 각 DC 전압 영역들 간의 히스테리시스 현상을 명확히 구분하기 위하여 DC 버스 전압 변동 영역을 좀 더 작게 구분하였고 공급 에너지원이 하나 혹은 두 개인 간단한 구조를 갖는 시스템의 경우이다. 장비들 간의 시스템 결합을 향상시키기 위해 DC 버스에 연결된 양방향 장비와 에너지원을 제어할 수 있는 중앙 제어기를 DC 버스 정류기에 추가시켜 구성할 수 있다. 이 경우 DC 버스 안정화가 향상된다.

Ⅳ. 결론

본 논문은 미래 가정에서 주 배전으로 AC 전압을 DC 배전으로 대체하여 사용하기 위한 구조 및 설계 개념에 대하여 제안하였다. 가정에서의 DC 전압 사용은 전체 시스템 효율을 향상시킨다. 공통 DC 버스 전압은 300V에서 400V의 광범위한 영역을 제시하였다. 또한 제시한 DC 버스 전압 영역이 DC 시스템을 지원하는 부하의 변동성에 대하여 유용성하며 효율 측면에서 적합함을 알 수 있었다. 재생 에너지와 에너지원에 대한 요구의 증가는 AC 버스에 전력을 주입시키기 위하여 인버터를 필요로 한다. 부하의 효율과 제어 측면에서 많은 부하가 내부 회로에 DC를 사용하고 있기 때문에 DC 버스 전압의 사용은 AC-DC 컨버터의 사용을 감소시킨다. 제시한 DC 버스 시스템은 AC 버스 시스템에 비교하여 전력 주입이 용이하며 효율적이다.

참고문헌

[1] P.-W.Lee,Y.-S.Lee, and B.T.Lin, "Power Distribution System for Future Homes,",Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive System(PEDS'99), v.2, pp.1140-1146.

[2] D.J.Hammerstrom, "AC Versus DC Distribution Systems-Did We Get ti Right?," IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp.1-5.

[3] M.E.Baran, and N.R.Mahajan,"DC Distribution for Industrial Systems: Opportunities and Challenges," IEEE Transaction on Industry Applications, v.39, pp.1596-1601, Nov./Dec., 2003.

[4] H.Pang,G.C.Lazaroiu, and E.Tironi, "DC Electrical Distribution Systems in Buildings,"2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications(ICPEA), 2006, pp.115-119.

[5] M.Brenna, E.Tironi, and G.Ubezio, "Proposal of a Local dc Distribution Network with Distributed Energy Resources," 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2004, pp.397-402.

[6] M.Brenna, E. Tironi, and G. Ubezio,"Proposal of a Local dc Distribution Network with Distributed Energy Resources," 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power,2004, pp.397-402.

저자소개

한상수(Sang-Soo Han)

1985년 명지대학교 전자공학과 공학석사
1995년 홍익대학교 전자공학과 공학박사

현재 : 경원대학교에너지IT과 정교수
※관심분야 : 로봇 제어공학, 지능 및 퍼지 제어, 전력 전자 및 전력 변환 제어